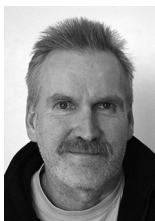




Juho Rantala



Kari Kautto

Juho Rantala ja Kari Kautto

Koneellinen kitkentä taimikon varhaisperkauksessa – työajanmenekki, kustannukset ja työjäljen laatu

Rantala, J. & Kautto, K. 2011. Koneellinen kitkentä taimikon varhaisperkauksessa – työajanmenekki, kustannukset ja työjäljen laatu. Metsätieteen aikakauskirja 1/2011: 3–12.

Koneellisen taimikonhoidon osuus on Suomessa alle prosentin taimikonhoidon kokonaismäärästä. Metsänomistajakunnan rakennemuutos, metsätaloussektorin työvoimapula ja metsätalouden kannattavuuden parantaminen kuitenkin edellyttävät metsänhoitotöiden koneellistamista. Taimikonhoidon koneellistamiseen liittyvä tutkimus- ja tuotekehitys on keskittynyt poistettavien taimien katkaisuun perustuviin menetelmiin. Tämän seurantalututkimuksen tavoitteena oli selvittää hakkuukoneeseen kytketyn poistettavien taimien kitkentään perustuvan Naarva-perkaajan työajanjakautuma ja -menekki, kustannukset ja työjäljen laatu kuusen varhaisperkauskohteilla. Koneellisen kitkennän keskimääräinen tehollinen työajanmenekki oli 7,1 tuntia per hehtaari. Kivisyyden lisääntyminen ja lehtipuiden lukumäärän kasvu hidastivat kitkentätyötä. Kasvatettavista kuusista keskimäärin 6 % vaurioitui kasvatuskelvottomiksi kitkennän yhteydessä. Koneellisen kitkennän kustannuskilpailukyvyyn ratkaisee se, kuinka hyvin kitkennällä voidaan ehkäistä tulevaa taimikonhoitotarvetta. Nykytiedon mukaan koneellinen kitkentä on sopivilla työkohteilla koko metsänuudistamisketjun näkökulmasta tarkasteltuna taloudellisesti kilpailukykyinen menetelmä verrattuna raivaussahatyöhön.

Asiasanat: koneellistaminen, kustannustehokkuus, metsänhoito, metsänuudistaminen, Naarva, taimikonhoito, tuottavuus

Yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen toimipaikka, Juntintie 154, 77600 Suonenjoki
Sähköposti: juho.rantala@metla.fi

Hyväksytty: 7.3.2011

Saatavissa: <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff11/ff111003.pdf>

I Johdanto

Taimikonhoitotyöt voidaan jakaa taimikonperkaukseen ja taimikonharvennukseen. Taimikon perkauksessa poistetaan pääasiassa kasvatettavia puita häiritseviä lehtipuita. Kuusen uudistamisketjussa varhaisperkaus tulee tehdä 1,5–2 metrin pituusvaiheessa. Tällöin lehtipuut eivät ole ehtineet häiritä kuusen kasvua, eikä perkauksen jälkeen syntyvän lehtipuuvesakon pituus enää ehdi saavuttaa kasvatettavien kuusten pituutta (Björkdahl 1983). Taimikonharvennuksessa poistetaan kasvatettavia puita häiritsevä puusto ja harvennetaan kasvatettavan puulajin tiheyttä. Harstelan (2003) mukaan kuusen taimikon kasvatuksessa on tärkeää säilyttää tuotantuuston hyvä kasvukunto, eikä taimikonhoitotöiden viivästyttämiseen perustuvalla laatuksivatokselle ole taloudellisia perusteita. Kuusen uudistamisketjussa taimikonharvennus tehdään tavallisesti 3–7 metrin pituusvaiheessa kasvupaikan olosuhteista ja taimikossa aiemmin tehdyistä metsänhoitotöistä riippuen. Taimikonharvennuksen jälkeinen tavoitetiheys on yleensä 1 800–2 000 kuusen taimea.

Taimikonhoitotöiden kustannukset ovat noin kolmanneksen kuusen uudistamisketjun kokonaiskustannuksista (Uotila ym. 2010). Karppisen ym. (2004) mukaan taimikonhoidosta jopa kaksi kolmasosaa tehdään metsänomistajien omana työnä. Tulevaisuudessa metsänomistajakunnan rakennemuutos – etenkin metsänomistajien kaupunkilaistuminen ja ikääntyminen – vähentänevät omatoimisen työn osuutta taimikonhoidossa (Karppinen ym. 2004, Karppinen ja Ahlberg 2008). Valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) mukaan Suomen metsissä on jo nyt lähes 700 000 ha rästissä olevia taimikonhoitotöitä (Korhonen ym. 2007). Taimikonhoitorästien määrän nousun pysäyttäminen metsänomistajien omatoimisuuden vähetessä ja työvoimapulan uhattessa metsätalousssektoria (Työvoiman saatavuus... 2005) edellyttää uusien työn tuottavuutta nostavien keinojen löytämistä.

Koneellistaminen on yksi tapa nostaa työn tuottavuutta. Koneellisen taimikonhoidon kehittämistyötä tehtiin Ruotsissa jo 1970-luvun alkupuolella ja erilaisia konekehelmiä oli jo tuolloin useita kymmeniä (Gustavsson ja Moberg 1975). 1980-luvulla käyttöön oli valikoitunut puolenkymmentä taimikonhoitolaiteita, joista suurin osa oli modifioituja

pieniä hakkuukoneita (Freij ym. 1991). Taimikonhoitokoneita oli Ruotsissa 1990-luvun alussa käytössä arviolta 20 ja niillä tehty työ seurantatutkimuksen mukaan kustannuksiltaan kilpailukykyistä raivaussahatyöhön verrattuna (Mattson ja Westberg 1992). Vastaavaan aikaan koneellinen taimikonhoito oli Suomen olosuhteissa kustannuksiltaan kilpailukykyistä vain taimikoissa, joissa poistettavan puuston tiheys ja kantoläpimitta olivat suuria. Koneellisessa taimikonhoidossa jäävästä puustosta vaurioitui noin 10 %. Vaurioista 63 % syntyi yliajon seurauksena ja 37 % raivauspään osumista (Ari ja Kumpare 1991).

Taimikonhoitokoneelle voidaan tutkimusten ja käytännön kokemusten perusteella asettaa useita kriteereitä. Koneen pintapaineen tulee olla matala, koska koneella työskennellään kesäaikaan ja se ohittaa lähietäisyydeltä jopa neljänneksen taimista. Toisaalta koneen renkaiden pitäisi olla kapeat, jotta taimia ei tule yli ajetuksi. Koneen pohjan tulee olla tasainen ja maavara vähintään puolet jäävien puiden pituudesta, jotta sillä voidaan ajaa taimirivin päällä aiheuttamatta vaurioita kasvatettaviin puihin (Eickhoff 1987). Koneen leveys pitäisi olla 2–3 m, jolloin ei tarvita leveitä ajouria. Koneella tulee olla hyvät ajo-ominaisuudet ja etenkin nopeuden säätö oltava helppoa. Koneesta tulee olla hyvä näkyvyys (Freij ym. 1991). Suomessa 1990-luvun alkupuolella näkyvyys oli merkittävimpiä ongelmia konetyössä. Se toisaalta hidasti ja toisaalta johti vaurioihin jäävässä puustossa (Ari ja Kumpare 1991). Lisäksi koneen puomin tulee olla korkea, tarkasti ohjattavissa ja ulottuvuuden vähintään 5 metriä (Freij ym. 1991). Puomin ohjauksen tarkkuus oli ongelma 1990-luvun koneissa ja johti vaurioihin jäävässä puustossa (Ari ja Kumpare 1991). Koneelle on etu, jos se voidaan muuntaa helposti esimerkiksi harvennuskäyttöön, koska korkea käyttöaste mahdollistaa edullisemmat pääomakustannukset (Freij ym. 1991). Alustakoneella on taimikonhoitolaiteissa ollut suuri vaikutus työn tuottavuuteen ja työjälkeen (Ari ja Kumpare 1991).

Koneellisen taimikonhoitotyön tuottavuuteen vaikuttavat sekä jäävän että poistettavan puuston määrät (Eickhoff 1987, Kjöstelsen 1989, Freij ym. 1991, Ari ja Kumpare 1991, Nordmark ja Andersson 1993), jätettävien havupuiden pituus suhteessa poistettaviin lehtipuihin, työkohteen ojitustilanne,

maasto-olosuhteet kuten kivisyys ja muut koneen etenemistä hidastavat tekijät, jäävän ja poistettavan puuston tilajärjestys ja kuljettaja (Freij ym. 1991). Etenkin kuljettajan kokemuksen ja ajotekniikan vaikutus tuottavuuteen voi olla useita kymmeniä prosentteja. Lisäksi kuljettajalla on suuri merkitys työjäljen laatuun (Kjöstelsen 1989, Freij 1989). Myös hyvät työohjeet ovat tärkeitä (Freij ym. 1991). Usein tuottavuutta voidaan nostaa sallimalla lähellä kasvatettavia puita olevien pienten lehtipuiden jättäminen ja sallimalla unohtukset. Unohtusten salliminen mahdollistaa koneyksikön jatkuvan etenemisen. Freij (1989) tutkimuksessa unohtusten salliminen nosti poistamatta jääneiden lehtipuiden määrän 16 %:sta 30 %:iin, mutta nosti tuottavuutta peräti 60 %. Tuottavuutta voidaan nostaa myös käsittelemällä joko koko metsikkökuvio tai osia siitä etukäteen raivaussahalla (Freij ym. 1991, Mattson 1994, Bergkvist ja Norden 2004). Tällöin työ kustannusten laskennassa on luonnollisesti huomioitava myös raivaussahatyön kustannukset.

Taloudellisesti järkevä koneellinen taimikonhoito edellyttää riittävän suuren käsittely-yksikön pinta-alan (Freij ym. 1991, Andersson ja Bjurulf 1992). Freij ym. (1991) mukaan työkohteiden pinta-alan tulee olla vähintään 2 hehtaaria. Andersson ja Bjurulf (1992) mukaan taimikonhoitokohteista 61 % on maasto-olosuhteiltaan soveltuvia koneelliseen taimikonhoitoon. Kun huomioidaan myös kohteiden pinta-ala, on konetyöhön soveltuvien taimikonhoitokohteiden osuus Ruotsissa 22 % kaikista taimikonhoitokohteista. Ylimartimon ja Heikkilän (2003) mukaan Suomessa 10 % taimikonhoitokohteista (61 000 ha) on teknisesti mahdollista ja taloudellisesti järkevää tehdä koneellisesti. Näistä 94 % on varttuneita taimikoita. Saarisen ja Rantalán (2010) esittämän koneellisen taimikonhoidon ja metsurityön välisen vertailun perusteella voidaan arvioida, että KEMERA-lain ehdot täyttävistä taimikonhoitokohteista noin 15 % on taloudellisesti järkevää tehdä koneellisesti.

Oikeiden teknisten ratkaisujen ja onnistuneen kohdevalinnan lisäksi huomiota on kiinnitettävä työn organisointiin. Mattsonin ja Westerbergin (1992) mukaan koneellisen taimikonhoidon kohdevalinnassa tulee priorisoida työkohteita, joilla on paljon poistettavaa puustoa, suuri poistettavien puiden läpimitta, paljon tiheitä puuryhmiä ja selkeä jäävän puuston tilajärjestys. Selkeä tilajärjestys helpottaa

kuljettajan työtä ja nostaa tuottavuutta merkittävästi (Johansson 1990). Lehdellisenä aikana tulee tehdä kohteet, joilla lehtipuut ovat korkeintaan yhtä pitkiä kuin jätettävät havupuut. Vaikeimmat kohteet, joilla lehtipuuta on runsaasti ja se on jätettävää havupuustoa pidempää, tulee mahdollisuuksien mukaan tehdä lehdettömään aikaan (Mattson ja Westerberg 1992). Koneellisen taimikonhoidon työajamenekki on lehdellisenä aikana tehdyssä työssä noin 20 % suurempi kuin vastaavassa työssä lehdettömänä aikana (Eickhoff ja Lindman 1986).

Koneellinen taimikonhoito ei ole yleistynyt, vaikka siihen liittyvät tuotosekologiset, tekniset ja taloudelliset kriteerit, haasteet ja mahdollisuudet tunnetaan melko hyvin. Tällä hetkellä koneellisen taimikonhoidon osuus on Suomessa edelleen alle 1 % taimikonhoidon kokonaismäärästä. Kaikki edellä esitetyt koneellista taimikonhoitoa käsittelevät tutkimukset on tehty koneilla, jotka on rakennettu korvaamaan raivaussahan ja metsurin yhdistelmä. Näissä koneissa keskeisenä periaatteena on ollut poistettavien taimien katkaiseminen.

Samasta periaatteesta lähdettiin liikkeelle myös UPM:n ja Pentin Paja Oy:n uuden taimikonhoitolaitteen kehittämistyössä. Työn tuloksena syntyi hakkuukoneen puomin päähän asennettava varhaisperkauslaite. Laite laskettiin kasvatettavan kuusen ympärille, jonka jälkeen giljotiini-periaatteella toiminut terä katkaisi lehtipuut noin metrin säteeltä kuusen ympäriltä. Kehitystyön tässä vaiheessa kuitenkin todettiin, että varhaisperkausvaiheessa katkaistujen lehtipuiden voimakas uudelleen vesominen johtaa siihen, että varhaisperkaus ei riitä takaamaan kasvatettavien kuusen taimien menestystä kaupallisiin käyttötarkoituksiin tähtääviin hakkuisiin asti. Laitteella ei myöskään saavutettu kustannusetuja raivaussahatyöhön verrattuna (Kaila 2005). Näistä lähtökohdista kehitystyössä päädyttiin kokeilemaan lehtipuiden katkaisun korvaamista kitkemisellä.

Kitkevän Naarva-perkaajan ensimmäinen versio valmistettiin vuonna 2004. Laite on suorakaiteen muotoinen ja sen keskellä on suojakehikko, joka suojaaa kasvatettavaa tainta kitkennän aikana. Kitkentalaitteen runko jakautuu sulkeutuvien leukojen mukaisesti viiteen avoimeen lohkokoon, joiden läpi poistettavat taimet työntyvät, kun laitteen keskellä oleva suojakehikko lasketaan kasvatettavan taimen ympärille. Tämän jälkeen tarttumaleuat suljetaan

hydraulisesti. Tarttumaleukojen reunat ovat kumi-päälysteisiä ja tarttumapinnat muotoiltu siten, että ote kitkettävistä puista on mahdollisimman pitävä. Kitkennässä tavoitteena on nostaa leukojen väliin puristuneet taimet juurineen irti maasta ja pudottaa maahan siten, että ne eivät jää kasvatettavien puiden päälle. Laite on tarkoitettu ensijaisesti reikäperkauksena toteutettavaan kuusen taimikoiden varhaisperkaukseen, jossa poistetaan kasvatettavan kuusen välittömässä läheisyydessä (etäisyys < 1 metri) kasvavat haittapuut.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää hakukoneeseen kytketyn kitkevän Naarva-perkaajan työn tuottavuus kuusen varhaisperkauskohteilla käytännön työolosuhteissa, tutkia eri työvaikeustekijöiden vaikutusta tuottavuuteen, laskea koneellisen varhaisperkauksen kustannukset eri olosuhteissa ja arvioida koneen tyäjäljen laatua. Perkauslaitteen teknisten ominaisuuksien, kuljettajan työtekniikan ja varhaisperkausmenetelmien jatkokehittämisen tueksi selvitettiin myös kitkentätöön jakautuminen eri työvaiheisiin ja työolosuhteiden vaikutus työajanjakamaan.

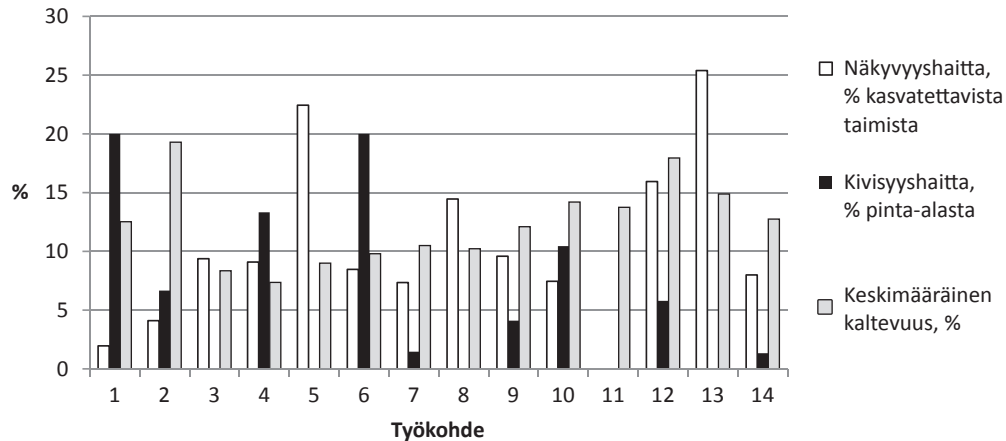
2 Aineisto ja menetelmät

Tutkimus toteutettiin yhden koneyksikön seuranta-tutkimuksena, jossa kitkevällä Naarva-perkaajalla varustetun keskikokoisen harvesterin (Valmet 901.2) työtä seurattiin kahden vuoden aikana neljällätoista kuusen taimikon varhaisperkauksen työkohteella. Seurannan aikana koneyksikköä ajoi kaksi eri kuljettajaa. Kuljettajien työhöjeena oli toteuttaa työkohteilla reikäperkaus. Työkohteet sijaitsivat UPM:n omistamilla metsätiloilla Itä-Suomessa. Vuoden 2008 syksyn ja vuoden 2009 kevään aikana koneyksikön työtä seurattiin seitsemällä työkohteella, jotka oli istutettu vuosina 2003–2004. Edellä mainitut kohteet kitkettiin lehdettömänä aikana. Lehdellisenä aikana kesällä 2009 kitkettiin lisäksi seitsemän työkohdetta, jotka oli istutettu vuonna 2005. Työkohteiden pinta-ala vaihteli 1,1 ja 7,4 hehtaarin välillä. Yhteensä tutkimusaineisto sisälsi 44,0 hehtaarin kitkentätöön. Kaikki työkohteina olleet taimikot oli laikkumätästetty ja istutettu koneellisesti kuusen 2-vuotiailla paakkutaimilla.

Työkohteina olleiden taimikoiden puustotiedot mitattiin ennen kitkentätöitä. Mittaukset tehtiin systemaattisella otannalla, jossa yksittäisen koealan koko oli 20 m² (r=2,52 m). Koealoja mitattiin 0,5–2,0 ha kokoisilta työkohteilta 15 kpl ja sitä suuremmilta 20 kpl. Koealojen koordinaatit tallennettiin tyäjäljen laadun inventointia varten. Koealoilta laskettiin kasvatettavien kuusten ja lehtipuuston runkoluvut. Jokaisen koealan viisi keskipistettä lähintä puuta valittiin koepuiksi, joiden perusteella määritettiin työkohteen lehtipuuston pituus ja kantoläpimitta. Ennen kitkentää kasvatettavia kuusia oli keskimäärin 1 714 runkoa per hehtaari ja niiden keskipituus oli 70 cm. Lehtipuita oli ennen kitkentää keskimäärin 12 100 runkoa per hehtaari. Lehtipuiden keskipituus oli 118 cm ja keskiläpimitta 13 mm.

Koealoilta arvioitiin myös työkohteiden muut työvaikeustekijät. Koealoittain arvioitiin maksimikaltevuus (%), aluskasvillisuuden aiheuttama näkyvyshaitta ja kivisyys. Kaltevuus-% mitattiin siltä ympyräkoelan halkaisijalta, jonka päätepisteiden korkeusero oli suurin. Näkyvyshaitta määritettiin niiden kasvatettavien taimien suhteellisenä osuutena (%), joiden näkyvyys koneyksikön kuljettajalle arvioitiin huonoksi. Työkohteen kivisyshaitta määritettiin niiden koealojen osuutena (%), joilla kivisyyden arvioitiin häiritsevän kitkentätöitä. Kivisyydessä oli suuria vaihteluita eri työkohteiden välillä. Kahdella työkohteella viidesosalla koealoista kivisyyden arvioitiin haittaavan kitkentätöitä, mutta useilla työkohteilla kivisyydestä ei oletettu olevan lainkaan haittaa. Kivisyshaitta arvioitiin olevan keskimäärin 6 % osuudella työkohteiden pinta-alasta. Lehtipuuesakon ja aluskasvillisuuden aiheuttamaa näkyvyshaittaa oli pahimmillaan neljäsosalla työkohteen kasvatettavista kuusen taimista. Toisaalta suurimmassa osassa työkohteista näkyvyshaitta oli alle 10 %:lla taimista (kuva 1).

Koneyksikön suorittama kitkentätö videoitiin kokonaisuudessaan ohjaamoon sijoitetulla videokameralla. Videoaineisto analysoitiin Timer Pro -työntutkimusohjelmistolla. Analysoinnissa yksi henkilö kävi videomateriaalin kokonaisuudessaan läpi ja jatoi koneyksikön tehollisen työajan eri työvaiheisiin. Lisäksi kuljettajat täyttivät työvuorokohtaisen työajan seurantalomakkeen jokaisen työvuoron aikana. Lomakkeisiin merkittiin työvuoron alkamis- ja päättymisaikojen lisäksi korjauksiin, koneyksikön



Kuva 1. Pintakasvillisuuden aiheuttama näkyvyyshaitta, kivisyys ja kaltevuus aineistoon kuuluneilla työkohteilla.

siirtoihin ja erilaisiin keskeytyksiin käytetyt ajat. Lomakekirjanpidon luotettavuus varmennettiin videoaineistosta.

Kitkennän työjäljen laatu inventoitiin työn toteutuksen jälkeen puustotunnusten mittaamista ja työvaikeustekijöiden määrittämistä varten perustetuilta koealoilta. Tällöin inventoitiin kasvatettavien taimien vauriot ja määritettiin vaurion aiheuttaja. Lisäksi työjäljen laadun inventoinnissa määriteltiin haittapaiksi jokainen enintään metrin etäisyydelle kasvatettavasta kuusesta jäänyt lehtipuu, jonka pituus oli vähintään puolet kasvatettavan kuusen pituudesta. Haittapaista mitattiin pituus ja kanto-
läpimitta sekä arvioitiin niihin kitkennässä syntyneet vauriot. Vuoden 2009 inventoinnissa kirjattiin erikseen alle 20 cm:n etäisyydelle kasvatettavasta kuusen taimesta jääneet haittapaat. Kuljettajat eivät tienneet koealojen sijaintia.

Koneyksikön pääoma- ja käyttökustannukset määräytyvät suurelta osin kitkentätyössä käytettävän peruskoneen mukaan. Valmistajan (Pentin Paja Oy) ilmoittama veroton hankintahinta kitkevälle Naarva-perkaajalle on 19 500 euroa. Tutkimuksessa ei esitetä tarkkoja kustannuslaskelmia, vaan tulokset esitetään koneyksikön 50, 60, 70 ja 80 euron käytötuntikustannusten mukaan.

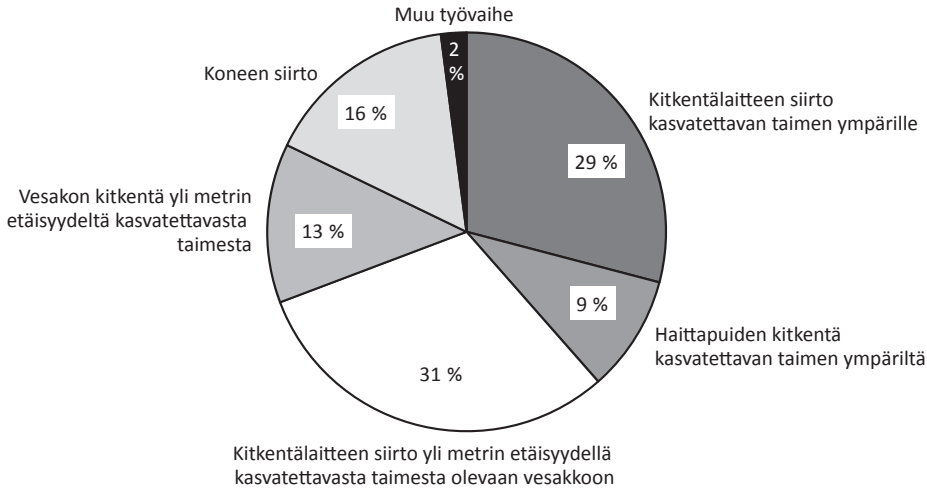
Työvaikeustekijöiden ja puustotunnusten vaikutukset kitkennän teholliseen työajamenekkiin selvitettiin regressioanalyysillä. Regressioanalyysillä tutkittiin varhaisperkauksessa poistettavien haitta-

puiden läpimitan, pituuden ja tiheyden sekä kasvatettavien puiden pituuden ja tiheyden vaikutuksia kitkennän työajanmenekin vaihteluun työkohteiden välillä. Niin ikään selvitettiin työkohteiden kivisyyden, kaltevuuden ja pintakasvillisuuden aiheuttaman näkyvyyshaitan vaikutukset työajamenekkiin. Tulokset esitetään vain niiden edellä mainittujen muuttujien osalta, joilla todettiin olevan tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,05$) vaikutus kitkennän työajamenekkiin.

3 Tulokset

3.1 Työajan jakautuminen

Kitkevän Naarva-perkaajan tehollisesta työajasta (E_0) keskimäärin 38 % kului kitkentälaitteen siirtoon kasvatettavan kuusen ympärille ja haittapuiden kitkentään kasvatettavan kuusen ympäriltä (kuva 2). Näiden työvaiheiden osuudessa tehollisesta kokonaistyöajasta ei ollut merkittäviä eroja lehdettömänä ja lehdettömänä aikana tehtyjen kitkentöjen välillä. Yli metrin etäisyydellä kasvatettavasta taimesta oleen lehtipuuesakon kitkentään kului keskimäärin 44 % koneyksikön tehollisesta työajasta. Keskimäärin 6 % tehollisesta työajasta käytettiin saman kohdan uudelleen kitkemiseen. Lehdettömänä aikana uusintoihin kului 3 % tehollisesta työajasta,



Kuva 2. Tehollisen työajan (E_0) jakautuminen eri työvaiheisiin koneellisessa kitkennässä.

kun taas lehdellisenä aikana vastaava osuus oli 9 %. Koneyksikön siirtymiseen työkohteen sisällä työpisteeltä toiselle kului keskimäärin 16 % tehollisesta työajasta.

3.2 Työn tuottavuus ja kustannukset

Kitkentätöön keskimääräinen mitattu ajanmenekki oli 7,1 tehollista (E_0) työtuntia per hehtaari. Nopeimmalla työkohteella aikaa kului 4,8 tuntia (E_0) ja hitaimmalla 10,3 tuntia (E_0) per hehtaari. Kitkentätöön ajanmenekin vaihteluun vaikuttivat etenkin työkohteen kivisyys (keskimäärin 6 %), lehtipuuston tiheys (keskimäärin $1\,000 \times 12,1 \text{ ha}^{-1}$) ja kasvatettavien puiden pituus (keskimäärin 70 cm). Kivisyyden lisääntyminen ja lehtipuiden tiheyden kasvu hidastivat kitkentätöitä. Sen sijaan kitkentätö oli nopeampaa työkohteilla, joilla kasvatettavien puiden pituus oli suurempi (taulukko 1).

Lehtipuuston pituudella tai puulajeilla ei tässä aineistossa ollut vaikutusta kitkennän työajanmenekkiin. Myöskään koneyksikön kuljettajalla tai kitkentätöön ajoittumisella lehtipuiden lehdelliseen tai lehdettömään aikaan ei ollut vaikutusta työajanmenekkiin. Malli selitti noin puolet (46 %) kitkentätöön tehollisen työajanmenekin vaihtelusta.

Koneyksikön käyttöajanmenekki (E_{15} , sisältää

korkeintaan 15 minuuttia kestäneet keskeytykset) oli keskimäärin 5 % tehoajanmenekkiä (E_0) suurempi. Keskimääräinen käyttöajanmenekki oli 7,4 tuntia per hehtaari. Keskimääräisellä käyttöajanmenekillä laskettu kitkennän hehtaarikustannus oli 370–592 € riippuen koneyksikölle asetetusta käyttötuntikustannuksesta (50–80 €/h). Hehtaarikohtaiselta käyttöajanmenekiltään pienimmällä työkohteella vastaava yksikkökustannus oli 255–408 €/ha ja suurimmalla 540–864 €/ha (taulukko 2).

3.3 Työjäljen laatu

Kitkennän yhteydessä jollakin tavalla vaurioituneita kasvatettavaksi tarkoitettuja kuusia oli keskimäärin 196 kappaletta per hehtaari, mikä vastasi keskimäärin 11 % (6–24 %) työkohteen kasvatettavista kuusista. Kahdella työkohteella vaurioitui yli viidennes kasvatettavista kuusista. Toisaalta kuudella kohteella vaurio-% jäi alle kymmenen. Vaurioituneista taimista keskimäärin 55 % oli vahingoittunut kasvatuskelvottomiksi. Vaurioista puolet aiheutui peruskoneen renkaista, vajaa kolmannes (32 %) kitkentälaitteen osumasta ja vajaa viidennes (18 %) varsinaisesta kitkennästä. Kitkennän yhteydessä vaurioituneiden kasvatettavien kuusten osuuden ja kohteen työajanmenekin välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää

Taulukko 1. Regressiomalli koneellisen kitkennän tehoajanmenekin (E₀)/ha vaihtelulle.

Muuttuja	β	σ	t	p	F	p
Vakiotermi	12,5	3,4	3,7	0,004		
Kivisyyshaitta, %:lla pinta-alasta	0,17	0,06	2,8	0,019	4,7	0,027
Kasvatettavien puiden pituus, cm	-0,15	0,06	-2,6	0,025		
Lehtipuiden lukumäärä, 1000 × ha ⁻¹	0,34	0,12	2,9	0,015		

R²=0,76; R²(adj.)=0,46

Taulukko 2. Koneellisen kitkennän konetyön hehtaari-kustannukset tutkimuksessa havaittujen pienimmän, keskimääräisen ja suurimman työkohteitaisten käyttöajanmenekin (E₁₅) ja konetyön käyttötuntikustannuksen mukaan.

Käyttötuntikustannus, €/tunti (E ₁₅)	Käyttöajanmenekki, tuntia (E ₁₅)/ha		
	5,1 (pienin)	7,4 (keskiarvo)	10,8 (suurin)
50	255	370	540
60	306	444	648
70	357	518	756
80	408	592	864

korrelaatiota. Vaurioiden määrä ei myöskään korreloinut kasvatettavien kuusten tai lehtipuiden keskipituuden tai näkyvyyshaitta-%:n kanssa.

Kitkennän jälkeen kasvatettavien kuusten lähelle jäi haittapuita keskimäärin 2874 runkoa per hehtaari eli 1,7 runkoa per kasvatettava kuusi. Näistä 32 % oli vaurioitunut kitkennän yhteydessä. Vaurioituneista haittapuista keskimäärin 31 % oli katkenneita. Lehdettömänä aikana tehdyillä työkohteilla vaurioituneista haittapuista katkenneita oli yli puolet (59 %), kun lehdellisenä aikana tehdyillä työkohteilla vastaava osuus oli vain 10 %. Jääneiden haittapuiden (ml. vaurioituneet) keskipituus oli 80 cm ja kantoläpimitta 8 mm. Jääneistä haittapuista 62 % oli koivuja ja 28 % pihlajia. Reilu neljännes (27 %) työkohteelle jääneistä haittapuista oli korkeintaan 20 cm:n etäisyydellä kasvatettavasta kuusesta. Nämä haittapuut olivat jääneet kitkennässä kasvatettavan kuusen ympärille laskettavan kehikon sisään ja jääneet sen takia kitkemättä. Kitkennän jälkeen kasvatettavista kuusista 46 % oli sellaisia, joiden lähellä (<1 m) ei ollut yhtäkään haittapuuta.

4 Tulosten tarkastelu

Tutkimus toteutettiin seuraamalla kitkevällä Naarva-perkaajalla varustetun koneyksikön työtä kahden kalenterivuoden aikana (2008–2009) kuusen varhaisperkaukskohteilla. Käytännön seuranta tutkimuksissa työajanmenekkiin vaikuttavien tekijöiden kontrollointi ja siten myös työolosuhteista johtuvan työajanmenekin vaihtelun selittäminen on usein kokeellista tutkimusasetelmaa vaikeampaa (Rantala ja Laine 2010). Tässäkin tutkimuksessa noin puolet työajanmenekin vaihtelusta jäi selittämättä. Yhtenä syynä tähän oli myös havaintoyksikköinä käytettyjen työkohteiden lukumäärän vähyyden tilastollisen päätelyn näkökulmasta. Toisaalta tulokset kuvaavat realistisesti koneyksikön tuottavuutta käytännön työssä ja ovat siten helposti käytäntöön sovellettavissa. Kuvatusta videomateriaalista 7 % jätettiin työajan jakautumista koskevien analyysien ulkopuolelle, koska kitkentälaite ei näkynyt videokuvassa.

Yleensä metsätyössä koneyksikön kuljettajalla on suuri merkitys työn tuottavuuteen (mm. Kariniemi 2006, Rantala ym. 2009, Rantala ja Laine 2010). Tässä tutkimuksessa kahden koneyksikköä ajaneen kuljettajan välillä ei kuitenkaan havaittu eroa. Toisaalta kuljettajakohtaisten havaintojen lukumäärä oli verrattain pieni ja kuljettajia vain kaksi. Molemmat kuljettajat olivat kokeneita metsäkoneen kuljettajia, mutta kokemus koneellisesta kitkentätyöstä oli vähäistä. Tutkimustulosten yleistettävyyttä rajoittaa myös aineiston rajoittuminen ainoastaan yhden koneyksikön seuraamiseen. Tutkimusajankohtana kitkeviä Naarva-perkaajia oli käytössä kolmessa koneyksikössä, jotka kaikki työskentelivät Suomessa UPM:n omistamissa metsissä.

Koneellisen kitkentätyön keskimääräinen ajanmenekki on samaa suuruusluokkaa kuin metsurityön

ajanmenekki varhaisperkauksessa. Näin ollen voidaan todeta, että yksittäisenä työajajina kitkentään perustuva koneellinen varhaisperkaus on perinteistä katkaisuun perustuvaa raivaussahatyötä kalliimpaa. Koneellisen kitkennän taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta onkin ratkaisevaa, kuinka hyvin kitkennällä voidaan ehkäistä tulevaa taimikonhoitotarvetta. Heikkisen (2009) tulokset antavat viitteitä siitä, että kitkentä vähentää huomattavasti tai sopivilla kohteilla ehkäisee lähes täysin taimikon uudelleen vesomisen. Jos näin on, kitkennän jälkeen ei tarvita toista taimikonhoitokertaa ja menetelmän kustannuskilpailukyky suhteessa raivaussahatyöhön paranee huomattavasti.

On myös huomattava, että tutkimuksen aineistoon kuuluneilla työkohteilla merkittävä osuus tehollisesta työajasta kului yli metrin etäisyydellä kasvatettava kuusesta olleen lehtipuuvesakon kitkemiseen. Koneellisen kitkennän tuottavuus olisi todennäköisesti nyt havaittua korkeampi, jos työ toteutettaisiin reikäperkauksena, jossa poistetaan ainoastaan kasvatettavien taimien välittömässä läheisyydessä olevat haittapuut. Toisaalta etenkin työkohteilla, joilla lehtipuuvesakko vaikeuttaa kasvatettavien puiden havaitsemista, on käytännössä mahdotonta kitkeä vain kasvatettavien puiden ympäriltä.

Kitkentäyön yhteydessä vaurioituneista kasvatettavista kuusista noin puolet jäi peruskoneen renkaiden alle. Toisaalta varhaisperkauksena toteutettavassa kitkennässä ei tarvita ajouria. Jos koneyksiköllä olisi mahdollista ajaa taimirivien välissä, jäisi vaurioituneiden taimien osuus huomattavasti pienemmäksi. Tämä edellyttää kasvatettavien puiden osalta systemaattista tilajärjestystä, jonka jo Freij ym. (1991) totesivat helpottavan koneellista taimikonhoitoa. Tutkimuksessa havaittu kasvatuskelvottomiksi vaurioituneiden kuusten osuus (6 %) oli sama kuin Aholaakon (2009) männyn kylvötai- mikoiden koneellista kitkentää koskeneessa selvi- tyksessä mitattu vaurioituneiden kasvatettaviksi tarkoitettujen mäntyjen osuus.

Istutuskuusikoissa lehtipuuvesakko alkaa yleensä häiritä kuusten kasvua 3–7 vuoden kuluttua istutuksesta, kun kuusten keskipituus on noin metrin (Luoranen ja Kiljunen 2006, Niemistö ym. 2008). Tästä näkökulmasta katsottuna aineistoon kuuluneet työkohteet kitkettiin melko varhaisessa vaiheessa. Aineiston työkohteilla kuusten keskipituuden vaih-

teluväli oli 58–83 cm. Tämän tutkimuksen olosuhteissa kitkentätyö oli sitä nopeampaa, mitä pidempiä kasvatettavat kuuset olivat. Tämä selittyy pääasiassa pidempien kuusten paremmalla näkyvyydellä lehtipuuvesakon ja aluskasvillisuuden seasta. Näin ollen kitkentätyötä voidaan tehostaa nyt havaitusta ajoittamalla se siten, että kasvatettavien taimien keskipituus on noin metrin. Tämän tutkimuksen aineistoon kuuluneilla työkohteilla tämä olisi tarkoittanut kitkentätyön siirtämistä 1–2 kasvukautta myöhem- pään ajankohtaan. Toisaalta tulee huomioida, että yli metrin mittaisissa taimikoissa kasvatettavien taimien vaurioriski kasvaa (Ahl 2004) ja kuusten kasvu ehtii kärsiä kilpailevasta lehtipuuvesakosta (Uotila ym. 2010).

Kitkennän yhteydessä taimikonhoidon vuoden- aika-ajoituksen yhteydellä lehtipuuston uudelleen vesomiseen ei ole juurikaan merkitystä, koska uudelleen vesominen näyttää olevan joka tapauksessa vähäistä. Maaperän jäätyminen kuitenkin estää kitkentäyön, joten tyypillisesti kitkentätyötä voidaan tehdä noin puolet kalenterivuodesta. Kausiluonteisen konetyön kustannustehokkuuden edellytyksenä on, että koneyksikön peruskoneelle löytyy työkäyttöä myös kitkentäajan ulkopuolella. Toisaalta kitkevän Naarva-perkaajan kaltaiset hakkuukoneen lisälaitteet tasaavat hakkuukoneiden käytön kausiluonteisuutta ja laskevat siten puunkorjuun tai talvikaudelle ajoittuvan koneellisen metsänhoidon pääomakustan- nuksia.

Aiemmissä tutkimuksissa koneellinen katkaisuun perustuva taimikon perkaus on ollut lehdettömään aikaan noin 20 % nopeampaa kuin lehdellisenä aikana (Eickhoff ja Lindman 1986). Mattsonin ja Westerbergin (1992) mukaan tämä ero korostuu vaikeilla työkohteilla, joilla poistettavaa puustoa on paljon ja se on kasvamaan jätettävää puustoa pidempää. Tässä tutkimuksessa työn tuottavuudessa tai työjäljen laadussa lehdettömänä ja lehdellisenä aikana ei kuitenkaan havaittu eroja. Tutkimuksen työkohteet olivat työvaikeudeltaan melko helppoja, mikä lienee yksi syy vähäisiin eroihin lehdellisenä ja lehdettömänä aikana tehtyjen työkohteiden työajamennekeissä. Lehdellisenä aikana tehollisesta työajasta kului suurempi osuus uusintoihin eli kitkemiseen useammin kuin yhden kerran samasta kohdasta kuin lehdettömänä aikana. Tämä selittyy sillä, että kasvatettavat kuuset näkyvät lehdellisenä aikana lehdettömänä aikana

huonommin lehtipuiden seasta. Tämän seurauksena kuljettaja joutuu lehdellisenä aikana välillä kitkemään lehtipuita tietämättä, ovatko ne kasvatettavan taimen välittömässä läheisyydessä.

Koneelliseen kitkentään perustuva kuusen taimikoiden varhaisperkaus on yksi mahdollisuus rationaalista metsänuudistamisketjua. Vaikka kitkentä on yksittäisenä työläjina raivaussahatyötä kalliimpaa, on se mätästyksen ja kuusen istutukseen perustavassa uudistamisketjussa sekä kustannusten että työjäljen laadun puolesta käyttökelpoinen menetelmä. Kuten koneellisessa taimikonhoidossa yleensäkin, myös koneellisen kitkennän kustannuskilpailukyky suhteessa raivaussahatyöhön paranee työkohteiden vaikeutuessa, vaikka etenkin poistettavan puuston lukumäärä vaikuttaa myös koneellisen kitkennän ajanmenekkiin. Lisäksi konetyöhön on manuaalista työtä helpompi liittää muita työläjeja kuten taimikon terveys- tai kasvatustarvonnat.

Toistaiseksi ei tunneta, kuinka kasvatettavat kuuset reagoivat ympäröivän lehtipuuston kitkentään. Niin ikään kitkennän mahdollisesti aiheuttamia juuristovaurioita ja niihin liittyviä pitkäaikaisia seurannaisvaikutuksia ei tunneta. Nykytiedon ja käytännön kokemusten mukaan riski tämääntäpäisistä pitkävaikutteisista haitoista vaikuttaa kuitenkin vähäiseltä. Kitkemättä jääneiden ja kitkennässä vaurioituneiden haittapuiden vaikutusta kuusten kasvuun ja puuraaka-aineen laatuun ei myöskään tunneta. Myös lehtipuuston uudelleen vesomisesta kitkennän jälkeen tarvitaan lisää tutkimustietoa.

Strandströmin ym. (2009) laatimassa metsänhoitotöiden koneellistamista koskevassa visiossa taimikonhoidoista tehdään Suomessa koneellisesti 20 % jo vuonna 2015. Kitkevällä Naarva-perkaajalla ehtii tässä tutkimuksessa havaitulla työajanmenekillä tehdä taimikon varhaisperkausta reilut 200 hehtaaria puolen vuoden työkauden aikana. Jos edellä mainittu visio toteutuu ja taimikonhoidoista puolet tehdään kitkentään perustuvana varhaisperkauksena, tarvitaan siihen 60–80 kitkevällä perkaajalla varustettua koneyksikköä.

Kiitokset

Tekijät kiittävät tutkimusmestari Urpo Paanasta laajan videomateriaalin analysoinnista. Kiitokset kuuluvat myös kitkentäkoneen kuljettajille ennakkoluo- lottomasta asennoitumisesta ja avustamisesta tutkimusaineiston keruussa sekä UPM:n Kari Kurulle avusta ja asiantuntemuksesta tutkimuksen suunnittelussa ja käytännön järjestelyissä.

Kirjallisuus

- Ahl, J. 2004. Koneellinen reikäperkaus. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. 27 s.
- Aholaakko, K. 2009. Kylvömännikön koneellisen kitkennän laatu ja tuotos. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 40 s.
- Andersson, G. & Bjurulf, A. 1992. Framtidens röjningsbestånd för maskinell röjning. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Resultat 1. 4 s.
- Ari, T. & Kumpare, T. 1991. Koneellinen taimikonperkaus. Metsähallituksen kehittämisjaosto, Tiedote 2/1991. 4 s.
- Auvinen, J. 2008. Raivauspään tuottavuuden ja kustannusten vertailu metsurityöhön. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. 23 s.
- Björkdahl, G. 1983. Höjdtutveckling hos stubbskott av vårt- och glasbjörk samt tall och gran efter mekanisk röjning. Sveriges Lantbruksuniversitet, Stencil 18. 54 s.
- Eickhoff, K. 1987. Bestandsval vid maskinell röjning. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Resultat 3. 4 s.
- & Lindman, J. 1986. Studie av prestation och arbetsmönster vid maskinell röjning med litet aggregat i lövat och olövat bestånd. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Stencil 1986-09-19.
- Freij, J. 1989. Røjmaskiner – en översikt. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Stencil 1990-05-19.
- 1991. Røjningsteknik. Slutrapport från ett av Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd (NSR) genomfört forskningsprojekt 1986–89. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Redogörelse 2. 56 s.
- , Mattson, S. & Johansson, T. 1991. Kombinationsrøjning. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Resultat 14. 4 s.

- Gustavsson, R. & Moberg, L. 1975. Sammanställning över anordningar för mekanisk röjning. Skogshögskolan, Institution för Skogsteknik. 39 s.
- Harstela, P. 2003. Taimikonhoidon vaikutus kuusen laatuun ja tuottoon. *Metsätieteen Aikakauskirja* 2/2003: 143–152.
- Heikkinen, O. 2009. Kitkevän reikäperkauksen vaikutus lehtipuiden kantovesomisen määrään. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 28 s.
- Johansson, A. 1990. Hur man kör röjmaskin. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Stencil 1990-05-04.
- Kailla, S., Kiljunen, N., Miettinen, A. & Valkonen, S. 2006. Effect of timing of precommercial thinning on the consumption of working time in *Picea abies* stands in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 496–504.
- Kailla, S., Poikela, A. & Strandström, M. 1999. Raivausahatyön tuottavuus ja palkanmääritys. *Metsätehon raportti* 78. 44 s.
- Kariniemi, A. 2006. Kuljettajakeskeinen hakkuukonetyön malli – työn suorituksen kognitiivinen tarkastelu. Helsingin yliopisto, Metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 38. 126 s.
- Karppinen, H. & Ahlberg, M. 2008. Metsänomistajakunnan rakenne 2020: yleiseen väestömuutokseen perustuvat ennustemallit. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2008: 17–32.
- , Hänninen, H., Koho, R. & Ovaskainen, V. 2004. Metsänomistajien omatoimisuus metsätoissa. Self-activity in nonindustrial private forestry. *Työtehoseuran metsätiedote* 671. 4 s.
- Kjöstelsen, L. 1989. Röjningsteknik. Slutrapport for NSR-projekt 26-1986. Delprojekt maskinell rydding. Norsk Institut for Skogforskning.
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Heikkinen, J., Henttonen, H. & Pitkänen, J. 2007. Suomen metsävarat metsäkeskuksittain 2004–2006 ja metsävarojen kehitys 1996–2006. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2007: 149–213.
- Mattson, S. 1994. Maskinell röjning i tätä tallföryngingar. *Skogforsk, Resultat* 1. 4 s.
- & Westerberg, D. 1992. Röjmaskiner i praktisk drift. *Skogforsk, Resultat* 5. 4 s.
- Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Velling, P., Heräjärvi, H. & Verkasalo, E. (toim.). 2008. Koivun kasvatus ja käyttö. *Metsäkustannus Oy*. 254 s.
- Nordmark, U. & Andersson, G. 1993. Maskinell ungskogsröjning – röjningsresultat och konsekvenser i första gallring. *Skogforsk, Resultat* 10. 4 s.
- Rantala, J. & Laine, T. 2010. Productivity of the M-Planter tree-planting device in practice. *Silva Fennica* 44(5): 859–869.
- Saarinen, V-M. & Rantala, J. 2010. Metsäpalveluyrityksille on kasvavaa kysyntää kaikissa metsänomistajaryhmissä. *Julkaisussa: Rieppo, K. (toim.). 2010. Kasvun eväät metsä- ja puualan pienyrityksille. TTS:n julkaisuja* 406: 40–47.
- Strandström, M., Hämäläinen, J. & Pajuoja, H. 2009. Metsänhoidon koneellistaminen: visio ja T&K-ohjelma. *Metsätehon raportti* 206. 24 s.
- Työvoiman saatavuus metsätaloudessa. 2005. Pöyry Consulting Oy. 83 p. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: http://www.metsafoorumi.fi/dokumentit/tyovoima_raportti.pdf. [Viitattu 16.9.2008].
- Uotila, K., Rantala, J., Saksa, T. & Harstela, P. 2010. Effect of soil preparation method on economic result of Norway spruce regeneration chain. *Silva Fennica* 44(3): 511–524.
- Ylimartimo, M. & Heikkilä, J. 2003. Taimikonhoitotöiden koneellistamiskelpoisuus. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2003: 429–437.

32 viitettä